

PATENT



IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant : Keskes et al.
Serial No. : 10/661,727 Examiner : Not Yet Assigned
Filed : September 12, 2003 Group Art Unit: Not Yet Assigned
For : METHOD OF KEYING A BOREHOLE IN A SEISMIC BLOCK

CLAIM FOR PRIORITY UNDER 35 U.S.C. §119

I hereby certify that this paper is being deposited
with the United States Postal Service as first class mail in
an envelope addressed to: Commissioner for Patents, P.O.
Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450

December 4, 2003

Date of Deposit

Gary M. Butter

Attorney Name

A handwritten signature in black ink, appearing to be "G. M. Butter", written over a horizontal line.

Signature

33,841

PTO Registration No

December 4, 2003

Date of Signature

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

A claim for priority is hereby made under the provisions of 35 U.S.C. §119 for the
above-identified U.S. patent application based upon United States Patent Application No.

PATENT

10/661,727 filed September 12, 2003. A certified copy of this European Patent Application No.
02292246.2 is enclosed.

Respectfully submitted,



Gary M. Butter
PTO Reg. No. 33,841
Attorney for Applicant
(212) 408-408-2543

Enclosure

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**



**Eur päisches
Patentamt**

**Eur pean
Patent Office**

**Office européen
des brevets**

Bescheinigung

Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterla-
gen stimmen mit der
ursprünglich eingereichten
Fassung der auf dem näch-
sten Blatt bezeichneten
europäischen Patentanmel-
dung überein.

The attached documents
are exact copies of the
European patent application
described on the following
page, as originally filed.

Les documents fixés à
cette attestation sont
conformes à la version
initialement déposée de
la demande de brevet
européen spécifiée à la
page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

02292246.2

Der Präsident des Europäischen Patentamts;
im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets
p.o.

R C van Dijk

1. The first part of the document is a letter from the President of the United States to the Congress, dated January 3, 1862. It is a very important document, as it contains the President's annual message to Congress. The letter is written in a very formal and dignified style, and it is one of the most important documents in the history of the United States.

2. The second part of the document is a report from the Secretary of the Treasury, dated January 3, 1862. It is a very important document, as it contains the Secretary's report on the state of the Treasury. The report is written in a very formal and dignified style, and it is one of the most important documents in the history of the United States.

3. The third part of the document is a report from the Secretary of the Interior, dated January 3, 1862. It is a very important document, as it contains the Secretary's report on the state of the Interior. The report is written in a very formal and dignified style, and it is one of the most important documents in the history of the United States.



Anmeldung Nr.:
Application no.: 02292246.2
Demande no:

Anmeldetag:
Date of filing: 12.09.02
Date de dépôt:

Anmelder/Applicant(s)/Demandeur(s):

Totalfinaelf S.A.
2, place de la Coupole,
La Défense 6
92400 Courbevoie
FRANCE

Bezeichnung der Erfindung/Title of the invention/Titre de l'invention:
(Falls die Bezeichnung der Erfindung nicht angegeben ist, siehe Beschreibung.
If no title is shown please refer to the description.
Si aucun titre n'est indiqué se référer à la description.)

Méthode de calage d'un puits de forage

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed / Priorité(s)
revendiquée(s)
Staat/Tag/Aktenzeichen/State/Date/File no./Pays/Date/Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation/International Patent Classification/
Classification internationale des brevets:

G01N/

Am Anmeldetag benannte Vertragstaaten/Contracting states designated at date of
filing/Etats contractants désignées lors du dépôt:

AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC NL
PT SE SK TR

1943

1943

1943

1943

1943

1943

1943

1943

1943

1943

1943

1943

1943

1943

1943

1943

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

METHODE DE CALAGE D'UN Puits DE FORAGE DANS UN BLOC SISMIQUE

Invention de : Naamen KESKES
Frédéric MANSANNE

SOCIETE ANONYME DITE :
TOTALFINAELF

ABREGE DESCRIPTIF

La méthode a pour objet de déterminer la meilleure corrélation possible pour des enregistrements électriques acquis dans un puits de forage avec des enregistrements sismiques acquis dans un volume de sous-sol contenant le puits. Le but est d'obtenir le meilleur calage possible du puits de forage dans le bloc sismique.

Pour ce faire, la méthode définit dans un voisinage de la trajectoire du puits un ensemble de réseaux en couches dont les entrées sont les signaux sismiques et les sorties sont les signaux électriques et elle attribue une mesure de qualité à leur convergence.

La meilleure qualité de convergence permet alors de déterminer le meilleur lieu dans le voisinage qui produit le meilleur calage.

(Figure 3 pour abrégé)

DESCRIPTION

La présente invention concerne une méthode de calage d'un puits de forage dans un bloc sismique multi-attributs, c'est-à-dire qu'elle vise à obtenir la meilleure position d'une trajectoire de forage dans le bloc sismique.

5 Etat de l'art

La méthode selon l'invention, s'applique sur des blocs sismiques. Un bloc sismique est formé par la juxtaposition de traces sismiques dans un volume. On appelle "coupe sismique" une tranche de bloc sismique. Une coupe sismique offre une vue de la juxtaposition des traces sismiques contenues dans le plan de coupe. Dans une
10 image sismique, l'intensité lumineuse d'un pixel est proportionnelle à l'attribut sismique représenté.

Le calage d'un puits de forage dans un domaine sismique a déjà fait l'objet de quelques travaux.

En particulier, le brevet FR-A-2 737 909 propose une méthode pour positionner une
15 trajectoire de forage sur une section sismique par modélisation dans un domaine somme synthétique des lieux de la trajectoire pour lesquels on a connaissance du couple (pendage, azimuth) puis par migration en temps de l'image synthétique.

Cette méthode permet de placer le puits sur une coupe sismique par une méthode de calcul déterministe.

20 D'autres méthodes de calcul ont été proposées. Cependant, toutes sont déterministes.

Apport de l'invention

L'approche de la méthode selon l'invention est de nature non-déterministe. On admet que toute mesure est entachée d'erreur et on s'attache à déterminer le meilleur
25 calage possible par un balayage de toutes les possibilités de calage pour en sélectionner la meilleure.

La méthode selon l'invention détermine la valeur du calage par la qualité de convergence en phase d'apprentissage d'un ensemble de réseaux de neurones.

La nouveauté réside dans le fait que les réseaux de neurones sont non seulement
30 utilisés comme estimateurs universels mais aussi comme instruments de mesure.

Ainsi chaque réseau produit une mesure de "distance" de calage et le meilleur calage est déterminé par la distance minimum.

- Cette opération est analogue à la sélection de la distance minimum dans un ensemble de mesures de distance prises avec un quelconque instrument de mesure, tel qu'une règle graduée.

Définition de l'invention

La présente invention a pour objet une méthode de calage, dans un espace présentant deux dimensions spatiales et une dimension temporelle, d'un signal S mesuré en des positions U affectées d'une incertitude, sur un ensemble de N signaux mesurés en des positions déterminées, les N + 1 signaux ayant leur origine temporelle dans un même plan, ladite méthode consistant à :

- ré-échantillonner les N + 1 signaux afin de les placer tous dans une plage d'échantillonnage identique,
- filtrer le signal S afin de le placer dans une plage de fréquences identique à celle des N signaux,

et caractérisée en ce qu'elle consiste en outre à :

- définir pour chaque position U associée aux mesures du signal S un même voisinage de lieux V dans l'espace spatio-temporel centré sur la position U,
- fabriquer un réseau de neurones en couches RN^V pour chaque lieu V dans le voisinage de U, chaque réseau ayant un vecteur d'entrée de dimension N associé aux mesures des N signaux et une sortie scalaire associée à une mesure du signal S,
- pour chaque réseau de neurones RN^V , définir un ensemble d'apprentissage tel que les entrées sont la collection de tous les vecteurs de mesures des N signaux situés aux lieux V et les sorties sont la collection des valeurs du signal S aux positions U pour toutes les positions U,
- fixer un nombre d'itérations prédéterminé N_{it} pour tous les réseaux de neurones et lancer les phases d'apprentissage de tous les réseaux,

- pour chaque réseau de neurones RN^v , calculer la valeur de l'intégrale Σ^v de la fonction donnant l'erreur commise par le réseau à chaque itération, de l'itération 1 à l'itération Nit,
- pour chaque position spatiale V_k en surface du voisinage de coordonnées (x_k, y_k, t_0) ,
- 5 sélectionner dans la dimension temps le couple de lieux $(V1_k(x_k, y_k, t_1), V2_k(x_k, y_k, t_2))$ du voisinage qui correspondent aux deux plus petits minima locaux des deux intégrales $(\Sigma^{v1}_k, \Sigma^{v2}_k)$,
- pour chaque position spatiale V_k en surface du voisinage, retenir parmi les deux positions $V1_k(x_k, y_k, t_1)$ et $V2_k(x_k, y_k, t_2)$ la position V_m , pour laquelle le signal estimé par
- 10 les réseaux de neurones respectifs RN^{v1}_k et RN^{v2}_k présente une variance maximale,
- choisir parmi les V_m la position V_{cal} pour laquelle l'intégrale Σ^v_m est minimum.

Figures

La figure 1 représente un signal électrique positionné dans un bloc sismique.

- La figure 2 illustre le résultat du filtrage d'un signal électrique qui ajuste sa plage de fréquences à celle des signaux sismiques.

La figure 3 représente un schéma de principe de fonctionnement des réseaux de neurones dans la méthode selon l'invention.

La figure 4 montre quatre fonctions d'erreurs associées aux phases d'apprentissage de quatre réseaux en couches.

- 20 La figure 5 illustre le principe de sélection du meilleur décalage temporel.

La figure 6 présente un réseau de neurones dans lequel les entrées sont issues d'une fenêtre temporelle prise sur les signaux sismiques.

La figure 7 montre le résultat de l'estimation d'un enregistrement électrique réalisée par le réseau de neurones et appliquée au meilleur point de calage.

25 Description complète

La méthode selon l'invention est une méthode de calage d'un puits de forage dans un bloc sismique. En se référant aux figures, un mode de mise en œuvre de cette méthode est donné ci-après.

Une acquisition sismique permet de fabriquer un bloc sismique dont le but est de représenter le volume de sous-sol parcouru par l'onde sismique. Un bloc sismique est constitué d'un ensemble de traces sismiques sommées, c'est-à-dire prétraitées pour obtenir la meilleure vision possible des réflecteurs sous-terrains. Les réflecteurs

5 sont des interfaces entre deux milieux présentant des vitesses différentes pour l'onde sismique. Les réflecteurs représentent généralement des limites de couches géologiques.

Soit un bloc sismique B. Le bloc sismique est défini par une matrice M à trois dimensions. Deux dimensions du bloc B sont liées à deux axes spatiaux horizontaux,

10 appelés communément (Ox, Oy). La troisième dimension du bloc B est liée à un axe temporel vertical, appelé communément Ot.

Le bloc sismique étant une image du sous-sol, chaque élément de la matrice M est associé à un point de coordonnées (x_{bi}, y_{bi}, t_{bi}) dans le sous-sol. La composante temps t_{bi} est liée à la profondeur z_{bi} par une relation du type :

15
$$z_{bi} = v(t_{bi}) * t_{bi} \quad (1)$$

où $v(t_{bi})$ est une fonction qui donne la vitesse de l'onde sismique en fonction de la profondeur.

Chaque élément de la matrice M contient un vecteur d'attributs sismiques $(A_{i1}, A_{i2}, \dots, A_{in})$ au point de coordonnées (x_{bi}, y_{bi}, t_{bi}) . Par exemple, les attributs $(A_{i1}, A_{i2}, \dots, A_{in})$

20 mesurent l'énergie de l'onde sismique, aussi appelée amplitude sismique.

On appelle déport la distance qui sépare le couple émetteur-récepteur associé à une trace sismique. Une mesure d'amplitude sismique est alors déterminée par la sommation des mesures d'amplitudes sismiques selon des classes de déports prédéterminées. Typiquement, on sommera les traces selon une partition en trois

25 classes de déports : déports proches, déports lointains et déports très lointains.

Soit un puits de forage F foré dans le volume de sous-sol couvert par le bloc sismique B. Le puits F parcourt le sous-sol selon une trajectoire de forage définie par un ensemble de points de coordonnées spatiales (x_{fi}, y_{fi}, z_{fi}) .

Tout forage de puits d'exploration pétrolière donne lieu à l'enregistrement de

30 nombreuses mesures électriques dans la profondeur du puits. Pour chaque point de

coordonnées (x_i, y_i, z_i) de la trajectoire du puits de forage, on acquiert ainsi un ensemble de mesures électriques $(E_1, E_2, \dots E_n)$.

La dimension des profondeurs z_i est l'unité de longueur ; les mesures sont prises en mètres ou en pieds. Une première opération pour placer le puits dans le bloc
 5 sismique est de transformer la grandeur longueur en grandeur temps. Cette transformation s'opère aisément grâce à la relation (1) puisque l'on peut mesurer les vitesses de propagation de l'onde sismique dans le sous-sol au voisinage du puits, ces vitesses étant directement mesurées dans le puits de forage.

Le résultat de la transformation est une trajectoire de puits temporelle définie par un
 10 ensemble de points U de coordonnées spatiales (x_i, y_i, t_i) .

On accroche ensuite le puits dans le bloc sismique par les coordonnées de départ de sa trajectoire ou coordonnées de surface (x_0, y_0, t_0) .

La figure 1 schématise une portion d'un bloc sismique (cube sismique) présentant des pas en espace dx et dy dans les deux dimensions horizontales et un pas en
 15 temps dt dans la dimension verticale. Un signal électrique (Log) est placé dans la portion du bloc.

Comme les enregistrements électriques dans les puits de forage sont généralement effectués tous les pieds et que la résolution d'un signal sismique, fonction de sa bande passante, est de l'ordre de quelques mètres, il convient dans un premier
 20 temps de ré-échantillonner les signaux électriques et sismiques de sorte que leur pas d'échantillonnage dans la dimension temps soient similaires. Pour ce faire, on ré-échantillonne l'ensemble des mesures électriques du puits F et on sur-échantillonne l'ensemble des mesures d'amplitude sismique du bloc B. Dans un deuxième temps, on applique un filtre sur les signaux électriques pour les amener dans une plage de
 25 fréquences identique à celle des signaux sismiques.

La figure 2 montre un exemple de filtrage d'une mesure électrique. Le rectangle de gauche intitulé "Log" représente l'amplitude d'un signal électrique échantillonné en temps après application de la transformation (1). Le rectangle de droite intitulé "Log Filtré" représente le signal électrique dont les fréquences ont été amenées dans le
 30 domaine des fréquences sismiques par application de filtres passe-haut et passe-bas. Le rectangle supérieur intitulé "Spectre en Fréquence", dont l'axe horizontal gradue des fréquences et l'axe vertical des amplitudes, montre les deux spectres de

fréquences associés à une trace sismique (Near) et au signal électrique filtré (Log filtré). On peut noter que le signal électrique qui contenait à l'origine beaucoup plus de hautes fréquences que la trace sismique se trouve maintenant ramené dans le domaine fréquentiel du signal sismique.

- 5 On définit alors pour chaque point U constituant la trajectoire du puits et associé à une mesure électrique E_i un voisinage spatio-temporel dans le bloc sismique B sous la forme d'un parallélépipède centré sur le point U. A l'instar du bloc sismique B, le parallélépipède possède deux faces spatiales horizontales et une dimension temporelle verticale, orthogonale à la face spatiale. Soit D_{vx} le nombre de lieux du
- 10 voisinage sur l'axe Ox , D_{vy} le nombre de lieux du voisinage sur l'axe Oy et D_{vt} le nombre de lieux du voisinage sur l'axe Ot .

On choisira, par exemple, une dimension du parallélépipède de 5 échantillons de part et d'autre du point U dans chaque dimension. D_{vx} , D_{vy} et D_{vt} prennent, dans ce cas, tous pour valeur 11 et le voisinage est défini comme un cube contenant 1331

- 15 (11 x 11 x 11) points de mesures sismiques. Le même voisinage s'applique à tous les points de la trajectoire, c'est-à-dire par extension à la trajectoire elle-même. Le voisinage est défini par un ensemble de points V. On appelle N_{pv} le nombre de points inclus dans le voisinage. N_{pv} est égal au produit $D_{vx} \times D_{vy} \times D_{vt}$ et vaut 1331 dans l'exemple précédent.

- 20 On fabrique ensuite N_{pv} réseaux de neurones en couches. Pour un cube de 1331 points, on fabrique ainsi 1331 réseaux de neurones. Le vecteur d'entrée de chaque réseau est un vecteur de mesures d'amplitude sismique dont chaque composante appartient à une classe de dépôts différente. La sortie du réseau se réduit à un scalaire représentant une mesure électrique E_i .
- 25 La figure 3 offre un schéma de principe. Dans cet exemple, les réseaux de neurones possèdent deux entrées et une sortie. Le rectangle de gauche intitulé "Near" montre les valeurs prises par la première entrée du réseau de neurones dans l'ensemble d'apprentissage. Le rectangle central intitulé "Far" montre les valeurs prises par la seconde entrée du réseau de neurones dans l'ensemble d'apprentissage. Le
- 30 rectangle de droite intitulé "Log" montre les valeurs prises par la sortie du réseau de neurones dans l'ensemble d'apprentissage. Un exemple est donc constitué par deux valeurs d'entrée prises à un temps (Time) déterminé sur les signaux "Near" et "Far"

et une valeur de sortie prise au même temps sur le signal "Log". L'ellipse intitulée "RN" est une représentation symbolique du réseau de neurones entre entrées et sortie.

- Les réseaux de neurones ont alors pour but d'apprendre une relation entre la mesure électrique E_i^u et les mesures sismiques ($A_1^v, A_2^v, \dots, A_n^v$), c'est-à-dire une fonction f telle que :

$$E_i^u = f(A_1^v, A_2^v, \dots, A_n^v) \quad (2)$$

Une mesure indicée par u indique que sa valeur est prise sur la trajectoire du puits et une mesure indicée par v indique que sa valeur est prise dans le voisinage.

- 10 Les réseaux de neurones présentent tous la même architecture, c'est-à-dire le même nombre de couches cachées, le même nombre de neurones par couche, le même nombre de connections et les mêmes conditions initiales.

- On choisit une position V dans le voisinage. La mise en œuvre du réseau de neurones RN^v associé à la position V s'effectue de la façon suivante. Pour tous les points U de la trajectoire du puits, on fabrique un ensemble d'apprentissage pour le réseau RN^v en collectant tous les vecteurs de mesures d'amplitude sismique situés à la position V . L'ensemble d'apprentissage pour le réseau de neurones RN^v est ainsi constitué d'autant d'exemples qu'il y a de points U sur la trajectoire.

- On choisit un nombre d'itérations prédéterminé N_{it} et on lance la phase d'apprentissage du réseau de neurones RN^v par rétro-propagation du gradient.

Lorsque les N_{it} itérations sont effectuées, on calcule la valeur de l'intégrale Σ^v de la fonction donnant l'erreur quadratique commise par le réseau à chaque itération, de l'itération 1 à l'itération N_{it} .

- On choisit ensuite une nouvelle position V' dans le voisinage de la trajectoire et on accomplit les étapes précédentes avec le réseau de neurones $RN^{v'}$ associé à la position V' pour obtenir une nouvelle intégrale $\Sigma^{v'}$.

On renouvelle ainsi l'opération jusqu'à ce que tous les points du voisinage aient été balayés. Pour un cube de 1331 points, on obtient ainsi 1331 valeurs d'intégrale.

- En machine, ces opérations peuvent se réaliser de façon séquentielle avec le même réseau de neurones réinitialisé à chaque changement de point dans le voisinage. Cependant, il est recommandé de mettre en œuvre cette technique en parallèle dans

des machines à multi-processeurs organisés en fermes de calcul en fabriquant autant de réseaux de neurones que la capacité des configurations-machines le permet. L'idéal serait de pouvoir obtenir autant de réseaux de neurones que de points dans le voisinage.

- 5 Tous les points du voisinage ayant été parcourus, pour chaque position spatiale V_k en surface du voisinage de coordonnées (x_k, y_k, t_0) au nombre de $Dvx \times Dvy$, on retient dans la dimension temps le couple de lieux $(V1_k(x_k, y_k, t_1), V2_k(x_k, y_k, t_2))$ du voisinage qui correspondent aux deux plus petits minima locaux des deux intégrales $(\Sigma^{v1}_k, \Sigma^{v2}_k)$.

- 10 La figure 4 montre quatre fonctions d'erreurs associées aux phases d'apprentissage de quatre réseaux de neurones identiques. Les axes horizontaux sont gradués en itérations et les axes verticaux donnent les erreurs quadratiques commises par les réseaux lors de leur estimation du signal électrique. Les valeurs des quatre intégrales associées aux réseaux sont égales aux surfaces hachurées. Dans cet exemple, ce sont les réseaux identifiés par les triplets (dx_k, dy_k, dt_1) et (dx_k, dy_k, dt_2) qui
 - 15 présentent les deux plus petits minima locaux des intégrales.

On calcule ensuite la variance du signal estimé par les réseaux de neurones RN^{v1}_k et RN^{v2}_k et on retient dans le couple $(V1_k(x_k, y_k, t_1), V2_k(x_k, y_k, t_2))$ la position V_m pour laquelle la variance est maximale. On définit ainsi un ensemble composé de $Dvx \times Dvy$ lieux V_m dans le voisinage.

- 20 La figure 5 indique comment se fait la sélection de la position V_m à partir de s positions V_k . Le rectangle supérieur donne les valeurs d'intégrales en fonction du déplacement sur l'axe temporel pour un V_k choisi. Dans cet exemple, le voisinage temporel est fixé à 20 échantillons temporels de part et d'autre d'un point de la trajectoire. Les décalages DE1 et DE2 correspondent aux deux plus petits minima
 - 25 locaux des intégrales. Le rectangle inférieur représente les valeurs des variances des deux signaux estimés par les réseaux de neurones associés aux décalages DE1 et DE2. On retient le décalage DE1 comme meilleur calage V_m pour la position de surface V_k .

- Enfin, on choisit parmi tous les $Dvx \times Dvy$ lieux V_m , la position V_{cal} pour laquelle Σ^v_m
 - 30 est minimum. La position V_{cal} est la position du voisinage qui assure le meilleur calage du signal électrique sur les signaux sismiques.

Un autre mode de réalisation consiste à ne pas renseigner les réseaux de neurones par une mesure unique par classe de dépôts mais par un ensemble de M valeurs prises dans une fenêtre d'échantillonnage en temps sur la trace, laquelle fenêtre est centrée sur un point V du voisinage. On prendra, par exemple, une fenêtre temporelle égale à 8 échantillons de part et d'autre du point V , c'est-à-dire 17 valeurs de temps.

La figure 6 présente un tel réseau pour lequel la fenêtre temporelle choisie est de 2 échantillons de part et d'autre du point V pour des raisons de simplicité. Le réseau possède de ce fait 5 entrées par classe de dépôts. La figure montre deux classes de dépôts proche (Near) et lointain (Far) qui génèrent 2×5 entrées.

Ceci modifie l'architecture du réseau qui comporte alors un vecteur d'entrée dont la dimension passe de N à $N \times M$. La sortie du réseau demeure scalaire.

La méthode selon l'invention s'applique ensuite de façon identique et conduit à la sélection du meilleur point du voisinage comme meilleur calage possible.

Cette technique de fenêtrage a l'avantage de permettre au réseau d'effectuer une déconvolution sur la base de la durée de l'impulsion sismique émise dans le sous-sol. La qualité des résultats s'en trouve alors grandement améliorée.

La figure 7 montre le résultat de l'estimation de l'enregistrement électrique (Prédiction) réalisée par le réseau de neurones à partir des signaux sismiques et appliquée au meilleur point de calage. Le tracé en pointillé (Puits) représente le signal électrique effectivement mesuré. On notera la très grande qualité de l'estimation qui atteste de la qualité du calage déterminé par la méthode selon l'invention.

REVENDICATIONS

1. Méthode de calage, dans un espace présentant deux dimensions spatiales et une dimension temporelle, d'un signal S mesuré en des positions U affectées d'une incertitude, sur un ensemble de N signaux mesurés en des positions déterminées, les N + 1 signaux ayant leur origine temporelle dans un même plan, ladite méthode consistant à :
 - ré-échantillonner les N + 1 signaux afin de les placer tous dans une plage d'échantillonnage identique,
 - filtrer le signal S afin de le placer dans une plage de fréquences identique à celle des N signaux,
- et caractérisée en ce qu'elle consiste en outre à :
 - définir pour chaque position U associée aux mesures du signal S un même voisinage de lieux V dans l'espace spatio-temporel centré sur la position U,
 - fabriquer un réseau de neurones en couches RN^V pour chaque lieu V dans le voisinage de U, chaque réseau ayant un vecteur d'entrée de dimension N associé aux mesures des N signaux et une sortie scalaire associée à une mesure du signal S,
 - pour chaque réseau de neurones RN^V , définir un ensemble d'apprentissage tel que les entrées sont la collection de tous les vecteurs de mesures des N signaux situés aux lieux V et les sorties sont la collection des valeurs du signal S aux positions U pour toutes les positions U,
 - fixer un nombre d'itérations prédéterminé N_{it} pour tous les réseaux de neurones et lancer les phases d'apprentissage de tous les réseaux,
 - pour chaque réseau de neurones RN^V , calculer la valeur de l'intégrale Σ^V de la fonction donnant l'erreur commise par le réseau à chaque itération, de l'itération 1 à l'itération N_{it} ,
 - pour chaque position spatiale V_k en surface du voisinage de coordonnées (x_k, y_k, t_0) , sélectionner dans la dimension temps le couple de lieux $(V1_k(x_k, y_k, t_1), V2_k(x_k, y_k, t_2))$ du voisinage qui correspondent aux deux plus petits minima locaux des deux intégrales $(\Sigma^{V1}_k, \Sigma^{V2}_k)$,

- pour chaque position spatiale V_k en surface du voisinage, retenir parmi les deux positions $V1_k(x_k, y_k, t_1)$ et $V2_k(x_k, y_k, t_2)$ la position V_m , pour laquelle le signal estimé par les réseaux de neurones respectifs RN^{V1}_k et RN^{V2}_k présente une variance maximale,

5 - choisir parmi les V_m la position V_{cal} pour laquelle l'intégrale Σ^V_m est minimum.

2. Méthode selon la revendication 1, caractérisée en ce que la mise en œuvre des réseaux de neurones consiste à :

- définir pour chaque position U associée aux mesures du signal S un même voisinage de lieux V dans l'espace spatio-temporel centré sur la position U ,

10 - fabriquer un réseau de neurones en couches pour chaque lieu V dans le voisinage de U , chaque réseau ayant un vecteur d'entrée de dimension $N \times M$ associé aux mesures sur une fenêtre temporelle de taille M centrée en V des N signaux et une sortie scalaire associée à une valeur du signal S ,

15 - pour chaque réseau de neurones, définir un ensemble d'apprentissage tel que les entrées sont la collection de tous les vecteurs de mesures prises dans une fenêtre temporelle de taille M centrée en V pour les N signaux et les sorties sont la collection des valeurs du signal S aux positions U pour toutes les positions U ,

- fixer un nombre d'itérations prédéterminé Nit pour tous les réseaux de neurones et lancer les phases d'apprentissage de tous les réseaux,

20 - pour chaque réseau de neurones RN^V , calculer la valeur de l'intégrale Σ^V de la fonction donnant l'erreur commise par le réseau à chaque itération, de l'itération 1 à l'itération Nit ,

25 - pour chaque position spatiale V_k en surface du voisinage de coordonnées (x_k, y_k, t_0) , sélectionner dans la dimension temps le couple de lieux $(V1_k(x_k, y_k, t_1), V2_k(x_k, y_k, t_2))$ du voisinage qui correspondent aux deux plus petits minima locaux des deux intégrales $(\Sigma^{V1}_k, \Sigma^{V2}_k)$,

30 - pour chaque position spatiale V_k en surface du voisinage, retenir parmi les deux positions $V1_k(x_k, y_k, t_1)$ et $V2_k(x_k, y_k, t_2)$ la position V_m , pour laquelle le signal estimé par les réseaux de neurones respectifs RN^{V1}_k et RN^{V2}_k présente une variance maximale,

- choisir parmi les V_m la position V_{cal} pour laquelle l'intégrale Σ_m^V est minimum.

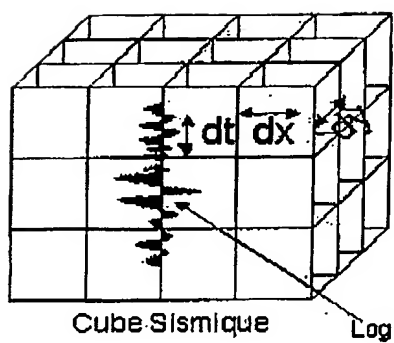


Figure 1

7/2

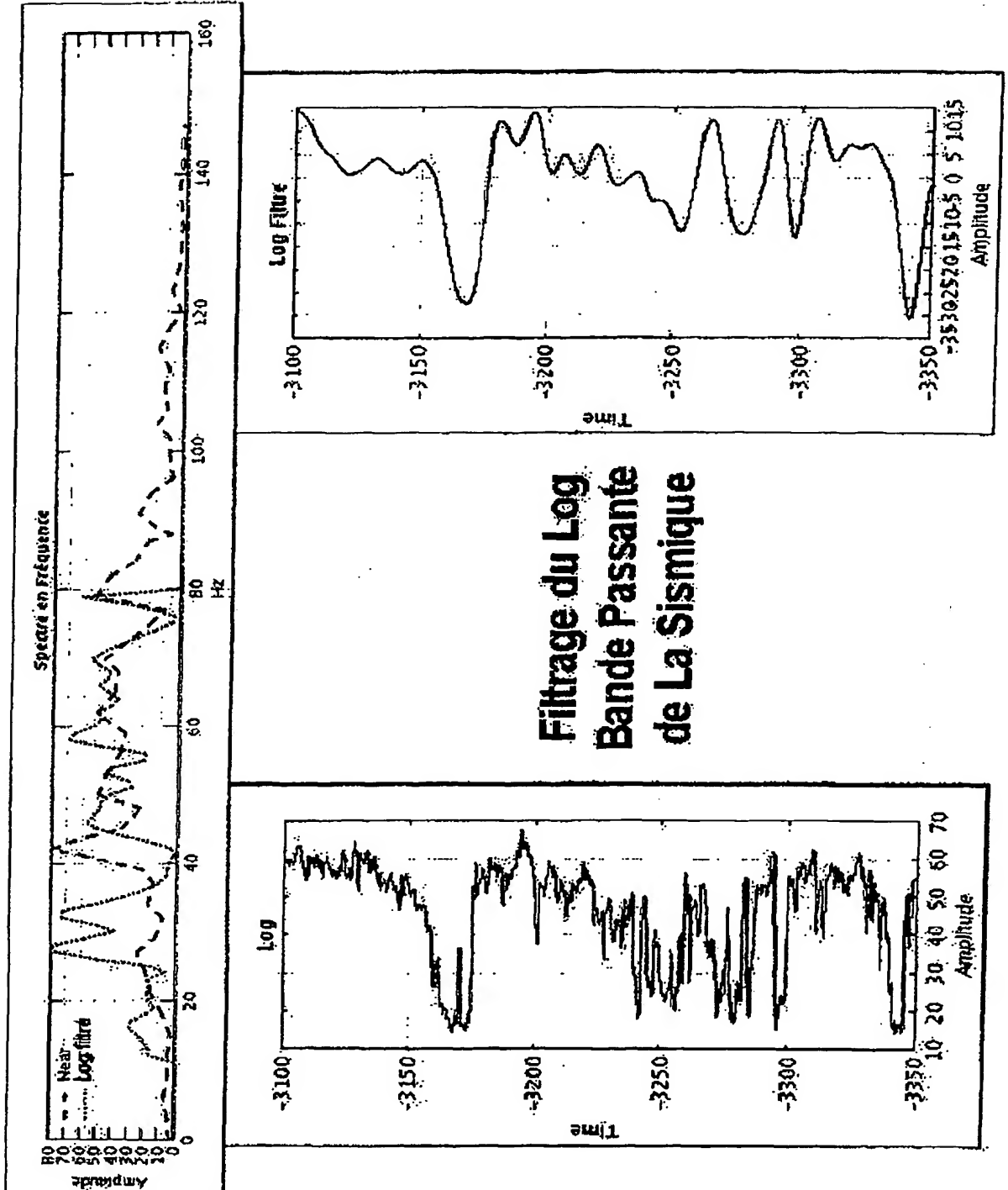


Figure 2

Comportement du réseau : vitesse de Convergence

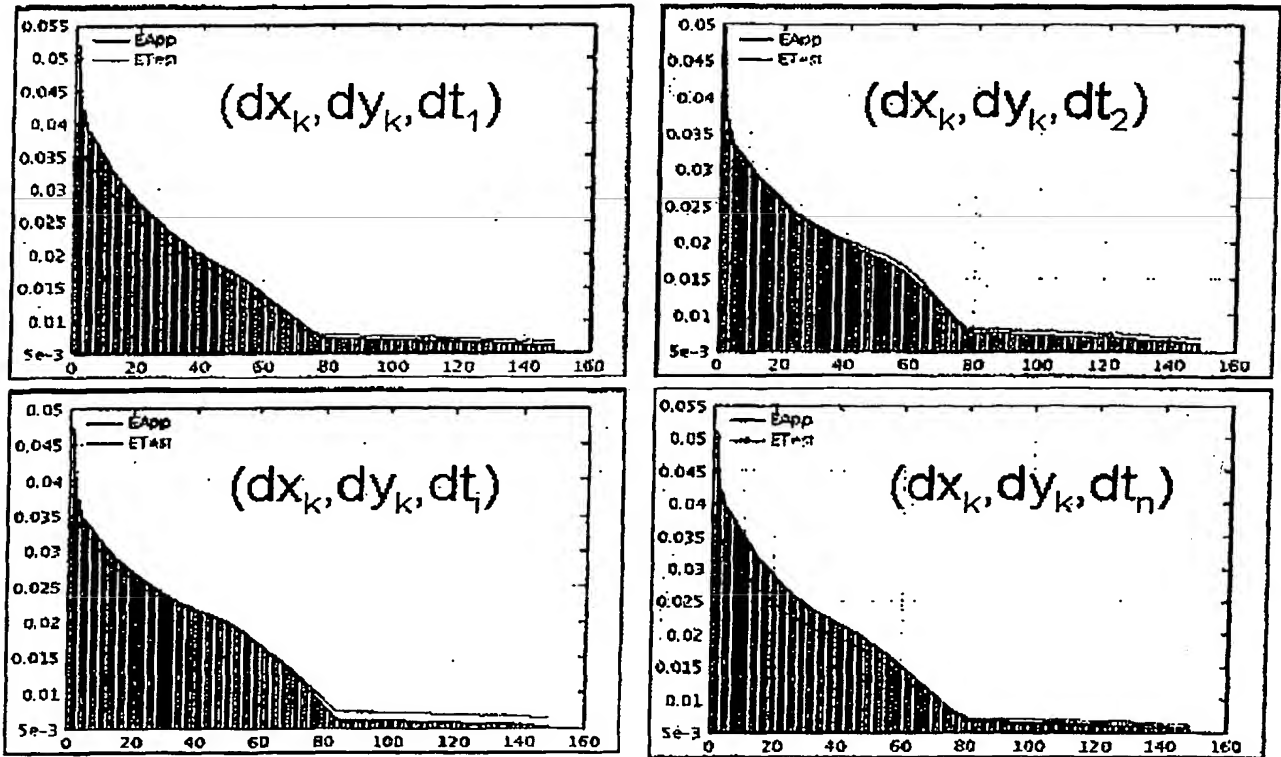


Figure 4

5/7

Détermination du Calage Temps Optimal pour un (X,Y) Fixé

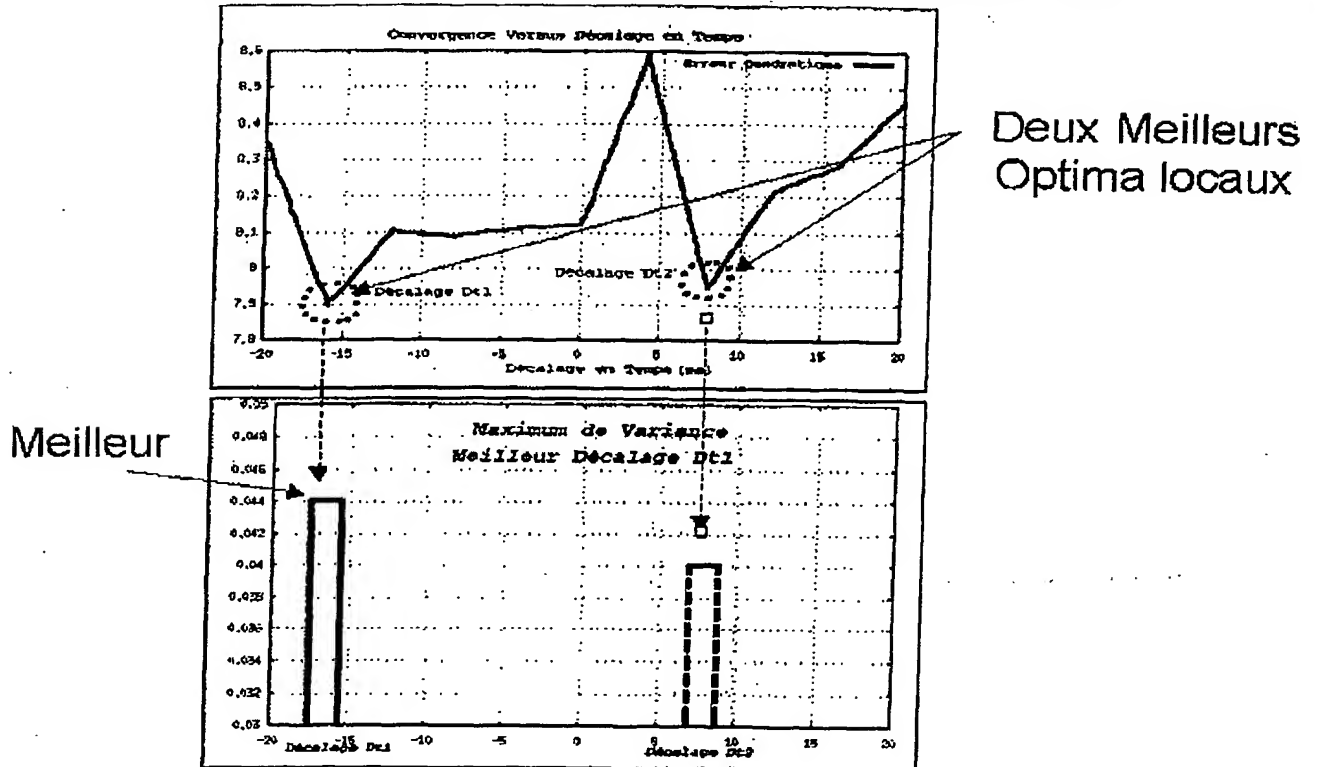


Figure 5

6/7

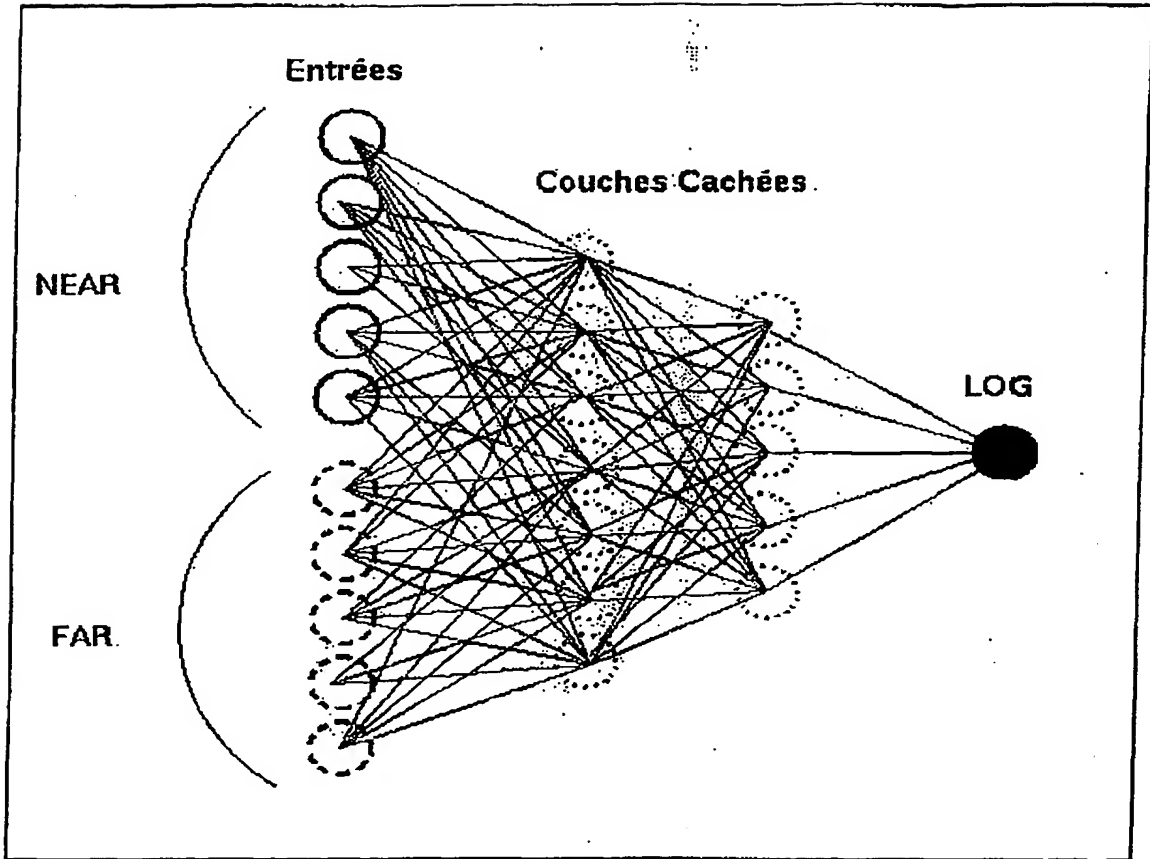


Figure 6

7/7.

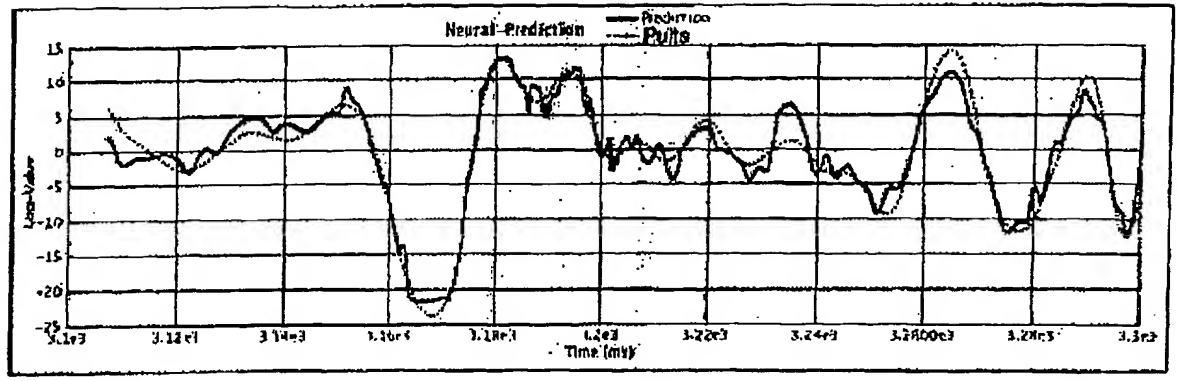


Figure 7